昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，October 2007，50（10）：1002 - 1008　　ISSN 0454-6296

橘小实蝇遗传性别品系的建立及雄性不育技术

季清娥[*]**，侯伟荣，陈家骅**

（福建农林大学植物保护学院，福州　350002）

摘要：为了更好地应用昆虫不育技术防治橘小实蝇，建立了以蛹色区分雌雄性别的橘小实蝇遗传性别品系。经过连续测交表明遗传品系能稳定遗传。质量监测表明遗传性别品系平均孵化率、蛹重、羽化率、飞出率、存活率等指标与普通种无显著差异。取遗传性别品系羽化前 1、2、3 天（分别用 - 1d、- 2d、- 3d 表示）的雄蛹，经过 100 Gy 的 ^{60}Co辐射后，分别与野生雌虫杂交，F_1 代卵的孵化率均大大低于对照组。对经过辐射处理 - 1d、- 2d、- 3d 的雄蛹分别进行质量检测，飞出率、存活率与对照组均无显著差异；- 1d、- 2d 的羽化率之间及与对照组之间无显著差异，- 3d 的羽化率与 - 1d、- 2d 及对照组差异均显著。取遗传性别品系的 - 2d 的雄蛹辐射 100 Gy 的^{60}Co，获得不育雄虫，和野生雄虫一起竞争与野生雌虫交配的机会，相对不育系数为 0.4923，表明不育雄虫与野生雄虫交配能力相当。田间扩散能力研究表明，不育雄虫在田间存在丰富的寄主植物的情况下不会大量扩散很远的距离。

关键词：橘小实蝇；遗传性别品系；不育雄虫；质量监测；交配竞争；扩散能力

中图分类号：Q963　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**0454-6296（2007）10-1002-07

Development of a genetic sexing strain and the sterile male technique of the Oriental fruit fly，*Bactrocera dorsalis*（Hendel）

JI Qing-E[*]，HOU Wei-Rong，CHEN Jia-Hua（Plant Protection College，Fujian Agriculture and Forestry University，Fuzhou 350002，China）

Abstract：To utilize sterile insect technique to control the Oriental fruit fly effectively，the genetic sexing strain for the Oriental fruit fly，*Bactrocera dorsalis*（Hendel）based on pupal color was developed. This strain permits the separation of males from females at the pupal stage. The results indicated that the genetic sexing strain was stable after genetic test cross. The percent egg hatch，pupal weight，adult emergence rate，flight ability，and longevity of the genetic sexing strain under irradiation were not significantly different with the check. Pupae were irradiated with ^{60}Co of 100 Gy at 1，2 and 3 d before emergence（indicated by - 1d，- 2d，and - 3d，respectively），then mated wild females separately. Percent egg hatch of F_1 was extremely low. Flight ability，and longevity of the genetic sexing strain under irradiation stress were not significantly different with the check，but the emergence rate of - 3d was significantly different from that of the check，- 1d，and - 2d. Sterile males from the irradiated pupae of - 2d competed with wild males for wild females. The relative sterile index（RSI）was 0.4923，and this means both sterile male and wild male have almost equal competitiveness. Sterile males did not move extensively when there were abundant host plants in the releasing site.

Key words： *Bactrocera dorsalis*；genetic sexing strain；sterile males；quality control；male sexual competitiveness；dispersal ability

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*（Hendel）（Oriental fruit fly），属双翅目（Diptera），实蝇科（Tephritidae），寡鬃实蝇亚科（Dacinae），果实蝇属 *Bactrocera* Macquart，是一种世界性检疫害虫，严重为害 40 多个科 250 多种水果和蔬菜，食性杂、传播快、危害大，防治困难，被世界各国列为水果“头号杀手”（Bateman，1972；

基金项目：福建省重大科技专项（2006NZ0002）

作者简介：季清娥，女，1968 年生，湖北监利人，博士，副研究员，主要从事农业昆虫与害虫防治的研究

[*] 通讯作者 Author for correspondence，Tel.：13305907880，E-mail：jiqinge@yahoo.com.cn

收稿日期 Received：2006-12-06；接受日期 Accepted：2007-08-29

Shukla and Prasad，1985；Vargas and Janmes，1990）。

橘小实蝇原产于印度、马来半岛、印度尼西亚、菲律宾群岛、中国台湾、马里亚纳群岛等地。中国大陆 1937 年曾有该虫的记录（Xie，1937），但未见严重危害。随着世界贸易的增加和国际间的频繁交往，该虫再次转入我国，对我国果、蔬等重要经济作物构成严重威胁。

目前防治橘小实蝇的措施主要有套袋、性诱及农药等（孙国坤等，2000；梁广勤等，2002；林进添等，2004），但这些措施均不能有效降低橘小实蝇虫口密度，无法遏制橘小实蝇的危害。国际上防治实蝇害虫较为成功的经验是应用不育昆虫技术（sterile insect technique，SIT），已应用 SIT 成功防治了多种（至少 13 种）实蝇害虫，包括地中海实蝇 *Ceratitis capitata*、瓜实蝇 *Bactrocera cucurbitae*、墨西哥实蝇 *Anastrepha ludens*、橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis*、葱蝇 *Delia antiqua* 等害虫（McInnis *et al*.，1994，1996；IAEA-IP-NA-D4-01，1998；IAEA，1999）。

雄性不育是在 SIT 的基础上发展起来的一项新的防治技术，主要原理是通过在危害区单独、持续、大量释放不育雄虫，通过不育雄虫与野生雌虫交配，不产生后代，逐代减少害虫种群数量，达到控制害虫的目的（Busch *et al*.，1988；Economopoulos，1990；Caceres *et al*.，2002；Hendrichs *et al*.，2002）。

为了达到只释放不育雄虫的目的，首先要建立经济、实用的目标害虫的特殊品系——遗传性别品系（genetic sexing strain，GSS），即建立有效、经济地区分雌雄性别的特殊品系。自 1981 年起，联合国粮农组织和国际原子能机构联合司（FAO/IAEA）及其合作研究机构，就以地中海实蝇为模式，开始研究实蝇害虫的基因性别品系，并建立了地中海实蝇的遗传性别品系，在中美洲、南美洲、地中海盆地率先建立实蝇工厂，利用地中海实蝇遗传性别品系，大量生产不育雄虫，防治地中海实蝇（Economopoulos，1990；Busch *et al*.，1998；Caceres *et al*.，2002；Barry *et al*.，2003；Rendon *et al*.，2004）。20 多年来，以地中海实蝇为模式应用遗传性别品系的雄性不育防治技术得到了更广泛的应用，在美国夏威夷、墨西哥、委内瑞拉、日本等地利用雄性不育技术防治地中海实蝇、瓜实蝇等均取得显著成效（Steiner，1957；McCombs *et al*.，1993；McCombs，1993；Hendrichs *et al*.，2002；Rendon *et al*.，2004）。

本研究建立的橘小实蝇遗传性别品系，雄性蛹为褐色，雌性蛹为白色，能在蛹期通过不同颜色区分雌雄性别；同时对雄性不育技术进行了初步研究，为利用雄性不育技术防治橘小实蝇提供了基础。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

本地橘小实蝇（雌、雄蛹颜色均为褐色）来源于福建漳洲番石榴果园内的带虫落果，已在室内用人工饲料繁育约 30 代。

白色品系（雌、雄蛹颜色均为白色）由本研究室建立（林骁等，2007），已在室内用人工饲料繁育约 10 代。DTWP 品系（dorsalis translocation white pupae，橘小实蝇异位白蛹品系，雌蛹白色；雄蛹褐色）的雄虫是美国农业部农业研究中心的 Donald O. McInnis 博士给福建农林大学益虫研究室学术交流的赠品。

野生橘小实蝇虫源采自福州闽侯果园的受害桃子，分批收集烂果中的幼虫，用沙作化蛹介质，羽化后在 48 h 内分离雌雄成虫，分别放在不同的养虫笼中用成虫饲料饲养。人工饲养条件为：温度（25 ± 1）℃，RH 65% ± 5%，L∶D = 12∶12。

1.2　建立遗传性别品系

在 30 cm × 30 cm × 30 cm 的养虫笼中放入刚羽化的 DTWP 品系雄虫 150 头、本地橘小实蝇雌虫 150 头，置于（25 ± 1）℃，RH 65% ± 5%，光周期 12∶12（L∶D）的养虫室内，提供成虫人工饲料（蛋白∶糖 = 1∶3）和水。分别于第 10 天、第 17 天采卵，将卵移至幼虫人工饲料上，4 天后用沙作化蛹介质收集老熟幼虫，约 7 天后筛蛹。

取上述步骤所得蛹 20 ~ 30 mL（约 700 ~ 1 000 头）置于养虫笼中，羽化后 48 h 内分离雌雄虫，取 150 头雄虫和来自白色品系的 150 头未交配过的雌虫，放入同一养虫笼中，让其交配。约 10 天后采卵（采卵、收集幼虫、化蛹等方法同上）。

再取上述第 2 个步骤所得蛹 20 ~ 30 mL（约 700 ~ 1 000 头）置于养虫笼中，羽化后 48 h 内分离雌雄虫，其余步骤同上。

1.3　遗传性别品系表现型污染率和基因重组率

对所建立的遗传性别品系进行连续饲养观察 3 代，每代均随机取上一代的蛹 35 mL 左右，剔除黑色、灰色的蛹（二者均为死蛹），再把褐色和白色的蛹分开放在不同养虫笼中，并统计蛹的数量；待蛹羽化后，检查、记录并分离从褐色蛹（雄蛹）中羽化出的雌虫、从白色蛹（雌蛹）中羽化出的雄虫；然后将其余的雌雄成虫放在同一养虫笼中，让其交配（采卵、

收集幼虫、化蛹等方法同上)。

对从褐色蛹(雄蛹)中羽化出的雌虫和从白色蛹(雌蛹)中羽化出的雄虫,分别与白色品系的雌虫、雄虫按1∶3的比例测交,采卵、收集幼虫、化蛹等方法同上。观察并记录测交后代蛹的颜色。

1.4 质量监测

对照组为本研究室饲养的橘小实蝇普通种。

1.4.1 孵化率:成虫10天时采卵,取200粒卵,均匀涂抹在湿润的滤纸上,放在培养皿中,置于(25±1)℃,RH 65%±5%,L∶D=12∶12条件下,72 h后在显微镜下记录未孵化卵的数量U,计算卵孵化率H%,H%=(200-U)/200。重复3代。

1.4.2 蛹重:随机取有8天蛹龄的蛹100头,称重;每代重复3次,共重复3代。

1.4.3 羽化率、飞出率:在1.2 m×0.6 m×1.2 m养虫笼(铝合金框架,尼龙网纱)中放5只直径10 cm、高20 cm内壁涂有滑石粉的黑色塑料圆筒,每筒内放入100头8天蛹龄的蛹,置于(25±1)℃、RH 65%±5%、L∶D=12∶12条件下,4天后分别记录圆筒内的死蛹数量A、半羽化蛹数量B、畸形实蝇数量C、正常但没能飞出圆筒的实蝇数量D,分别计算羽化率E%、飞出率F%。重复3代。

$$E\% = (100-A-B)/100$$

$$F\% = (100-A-B-C-D)/100$$

1.4.4 存活率:在不提供水和饲料的情况下,分别取羽化2 h内的雌雄虫各50头,放入黑暗环境中的测试笼(30 cm×40 cm×30 cm)内,置于(25±1)℃、RH 65%±5%条件下,48 h后记录死亡的虫数D,计算存活率S%。重复3代。

$$S\% = (50-D)/50$$

1.5 不同蛹龄核辐射后不育性比较

分别取遗传性别品系羽化前1、2、3天(即-1d、-2d、-3d)的雄蛹(褐色蛹),照射^{60}Co 100 Gy的剂量(辐射源^{60}Co由福建省农科院稻麦研究所提供,剂量率为1.71 Gy/min)。羽化后分别与实验室饲养的普通橘小实蝇雌虫配置3个杂交组合,每个组合50♂×50♀,即:-1×N(-1为羽化前1天辐射处理过的遗传品系雄虫;N(nonirradiated)为未辐射的普通雌虫,下同),-2×N(-2为羽化前2天辐射处理过的遗传品系雄虫),-3×N(-3为羽化前3天辐射处理过的遗传品系雄虫)。对照组为实验室饲养的普通橘小实蝇N×N。

分别在羽化后第10天、第17天对所有杂交组合各取卵200粒,计算卵孵化率(孵化率计算方法同上)。重复3代。

1.6 交配竞争

3个田间测试笼(规格3.0 m×3.0 m×2.3 m,铝合金框架,尼龙网纱)中各种有1棵番石榴树(树高2 m左右,)供橘小实蝇停歇。

不育雄虫的获得及标记:橘小实蝇遗传性别品系的-2d的雄蛹先用荧光染色剂染色,再经过100 Gy的^{60}Co辐射,成为不育雄虫,羽化后额区会粘上染色剂。

取不育雄虫300头,野生雌、雄虫各300头,置于9个养虫笼(规格30 cm×30 cm×30 cm)中分别饲养,直到性成熟(一般是不育雄虫7~9天,野生雌雄虫25天)。

在测试当天日落前3 h将测试虫子释放到田间测试笼中,每笼释放不育雄虫100头、野生雌虫100头、野生雄虫100头。橘小实蝇雄虫释放后先是占领各自的地盘,到日落前1 h开始交配。用带盖的小试管捕捉正在交配的虫子,并记录交配的类型。实验持续2 h,最后分别统计不育雄虫与野生雌虫交配的对数(Sterile×Wild,S×W)、野生雄虫与野生雌虫交配的对数(Wild×Wild,W×W),计算相对不育系数(relative sterile index,RSI)。RSI=S×W/[(S×W)+(W×W)]。

1.7 扩散能力

不育雄虫的获得及染色标记同上。释放地点:福州武警副食品生产基地,面积约2 hm^2,东、西面是建造物,南面是高速公路,北面是山,栽种有杨桃、蕃石榴、枇杷、桃、木瓜、芒果、台湾青枣等果树。

上午9点在该地中心点释放不育雄虫约10 000只。共设10个甲基丁香酚(ME)诱集瓶收回不育雄虫。在距离释放点50 m处的东西南北4个方向各设1个诱集瓶(分别编号为1~4号);在距离释放点100 m处,北面设1个诱集瓶,西南和东南各设1个诱集瓶(分别编号为5~7号);在距离释放点300 m处的东、西和南面各设1个诱集瓶(分别编号为8~10号)。每周调查1次,在解剖镜下区分野生雄虫与不育雄虫,记录诱集瓶内的不育雄虫数量。

1.8 数据分析

数据采用DPS7.55软件处理。

2 结果与分析

2.1 遗传性别品系的建立

“本地橘小实蝇♀×美国DTWP♂”的F$_1$代544

头蛹全为褐色；取其中的♂和白色品系中的♀杂交，F_1 代的蛹仍为褐色；再取其中的♂和白色品系的♀回交，后代蛹表现为两种不同的颜色，白色蛹羽化后为♀虫，褐色蛹羽化后为♂虫。如果用 A 表示显性褐色基因，a 表示隐性白色基因，该杂交过程可图解如图 1。

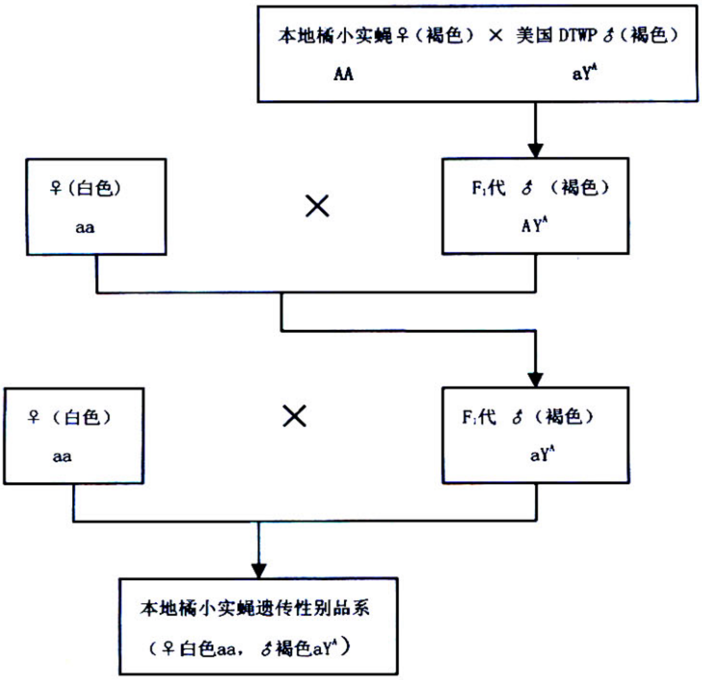

图 1　橘小实蝇遗传性别品系的建立过程

Fig. 1　The establishment of the genetic sexing strain (GSS) of *Bactrocera dorsalis*

通过蛹的不同颜色在蛹羽化成成虫之前区分开不同性别，即为本研究的遗传性别品系（GSS），不同蛹的颜色如图 2、3 所示。

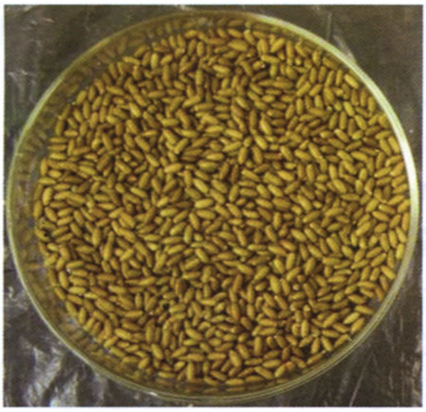

图 2　普通品系（雌雄蛹均为褐色）

Fig. 2　Normal strain (both male and female pupae are brown)

2.2　遗传品系表现型污染率和基因重组率

第 1 代雄蛹（褐色）和雌蛹（白色）中均未羽化出相反性别的成虫，表现型污染率和基因重组率均为 0。

第 2 代 10 908 头雄蛹（褐色）中羽化出 1 头雌虫；9 401 头雌蛹（白色）中未羽化出雄虫，表现型污染率为 0.0092%。雄蛹（褐色）中羽化出来 1 头雌虫与白色品系的 3 只雄虫测交，后代蛹均为白色，基因重组率为 0。

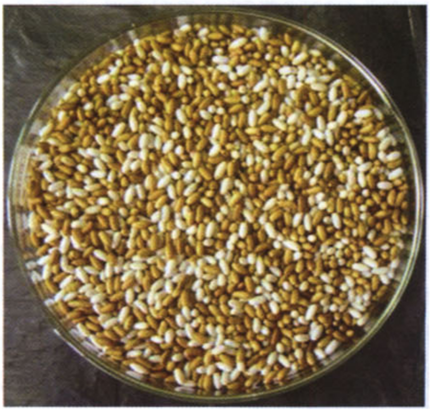

图 3　遗传性别品系（雄蛹褐色、雌蛹白色）

Fig. 3　Genetic sexing strain (male pupae are brown and female pupae are white)

第 3 代 10 792 头雄蛹（褐色）中未羽化出雌虫，9 417头雌蛹（白色）中羽化出雄虫 2 只，表现型污染

率为0.0212%。雌蛹(白色)中羽化出来的2只雄虫与白色品系的6只雌虫测交,后代蛹均为褐色,基因重组率为0(表1)。

第2代和第3代褐色蛹(雄蛹)出现的雌虫(白色)和白色蛹(雌蛹)出现的雄虫(褐色)均不是基因重组产生的,而是表现型污染,可能是人工分蛹时的辨色的误差或由营养不充分导致出现不纯的褐色和不纯的白色,表明遗传品系能稳定遗传。

表1 遗传性别品系表现型污染率和基因重组率

Table 1 Phenotype contamination rate and genetic recombination rate of GSS

世代 Generation	**雄蛹** Male pupae		**雌蛹** Female pupae		**表现型污染率** Phenotype contamination rate	**基因重组率** Genetic recombination rate
	褐色 Brown	**白色** White	**白色** White	**褐色** Brown		
F_1	10 879	0	9 397	0	0	0
F_2	10 908	1	9 401	0	1/10 908 = 0.000092	0
F_3	10 792	0	9 417	2	2/9 417 = 0.000212	0

2.3 遗传品系质量监测

对所建立的遗传性别品系进行质量监控,结果见表2。本研究室人工饲养的本地橘小实蝇普通种卵的平均孵化率是89%左右;与此相比,遗传性别品系卵的孵化率较低,但和其他指标一样,均与本研究室人工饲养的本地橘小实蝇普通种无显著差异。

本遗传性别品系起源于美国DTWP品系,该品系是经过低剂量的核辐射诱变后筛选培育的,雌性为隐性纯合体,蛹表现为白色;雄性经过基因改造后,决定性别的Y染色体上连锁了标记基因,蛹表现为褐色,呈显性,可稳定伴性遗传。

通过一序列的杂交建立的本遗传性别品系,其雄虫的Y染色体来自DTWP品系的雄虫,因此在减数分裂时期,同源染色体分离会产生不平衡的配子,导致了胚胎早期死亡,因而卵的孵化率低于本地普通种。

表2 遗传性别品系卵孵化率、蛹重、羽化率、飞出率、存活率(平均值±*SE*)

Table 2 Percent egg hatch, pupal weight, emergence rate, flight ability, and survival rate of GSS (mean±*SE*)

世代 Generation	**卵孵化率** Percent egg hatch (%)	**蛹重** Pupal weight (mg)	**羽化率** Emergence rate (%)	**飞出率** Flight ability (%)	**存活率** Survival rate (%)
F_1	74.0000 ± 2.3094 aA	13.7107 ± 0.0323 aA	87.0000 ± 0.5774 aA	60.3333 ± 3.1798 aA	52.0000 ± 3.0551 aA
F_2	79.0000 ± 2.0817 aA	14.1433 ± 0.0037 aA	91.6667 ± 1.4530 aA	59.3333 ± 2.9627 aA	48.6667 ± 1.7638 aA
F_3	74.6667 ± 0.8819 aA	14.1700 ± 0.0028 aA	90.6667 ± 1.7638 aA	56.6667 ± 1.6667 aA	48.0000 ± 5.7735 aA
CK	89.5556 ± 0.7286 aA	12.7089 ± 0.2975 aA	89.8835 ± 0.4960 aA	61.1111 ± 2.5987 aA	50.0033 ± 2.6972 aA

注:表中数据采用 Tukey**多重比较法,相同小写字母表示差异不显著,不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);相同大写字母表示差异不显著,不同大写字母表示差异显著($P<0.01$)。下同。**

Notes: Compared using Tukey's multiple test. Same small letters mean no significant difference and different small letters mean significant difference ($P<0.05$ level). Same capital letters mean no significant difference and different capital letters mean significant difference ($P<0.01$ level). The same below.

2.4 不同蛹龄的蛹核辐射后不育性比较

卵的孵化率越低,不育性越高;孵化率越高则不育性越低。人工饲养的种群羽化后的第10天为第1个产卵高峰期,第17天为另1个产卵高峰期。-1d、-2d、-3d的雄蛹经过100 Gy的^{60}Co辐射,羽化后分别与普通雌虫杂交,F_1代卵的孵化率均大大低于对照组,其中-3d的F_1代卵的孵化率在第10天和第17天均最低,-1d的均最高,-2d的孵化率介于二者之间(表3)。

表3 遗传性别品系不同蛹龄的蛹核辐射后F_1代卵孵化率

Table 3 Percent egg hatch of F_1 of irradiated pupae at different pupal age of GSS

交配类型 Mating type	**成虫年龄(d)** Adult age	**卵孵化率(%)** Percent egg hatch
-1×N	10	0.40 (0-1.8)
	17	0.33 (0-1.8)
-2×N	10	0.28 (0-1.7)
	17	0.11 (0-0.5)
-3×N	10	0.12 (0-0.55)
	17	0.05 (0-0.4)
CK(N×N)	10	89.67 (87-91)
	17	91.54 (89-92)

注:括号内的数据为最小值-最大值。

Notes: Numbers in bracket is from minimum to maximum.

2.5 不同蛹龄的蛹核辐射后质量监测

-1d、-2d、-3d的蛹经过100 Gy的^{60}Co辐射后飞出率、存活率与对照组之间无显著差异。羽化率方面-3d成虫的在0.05%的水平与-1d、-2d及对照组差异显著;在0.01%的水平与-1d及对照组

差异极显著(表 4)。可能的原因是因为 –1d 的蛹快接近羽化,核辐射对其生殖结构影响不大,而 –3d 的蛹虽然后代卵孵化率低,但因为核辐射对其身体损伤较大,易造成畸形,因而羽化率较低。

表 4　遗传性别品系核辐射后羽化率、飞出率、存活率

Table 4　Emergence rate, flight ability, and survival rate of irradiated pupae at different pupal age of GSS

蛹龄 Pupae age	羽化率(%) Emergence	飞出率(%) Flight ability	存活率(%) Survival
–1d	90.0000 ± 1.1547 aA	65.6667 ± 1.2019 aA	52.6667 ± 2.9059 aA
–2d	88.6667 ± 1.4531 aAB	59.3333 ± 1.8559 aA	50.0000 ± 2.3094 aA
–3d	83.3333 ± 1.8559 bB	53.3333 ± 1.6667 aA	44.0000 ± 1.1547 aA
CK	92.1111 ± 0.6560 aA	66.5556 ± 1.8266 aA	52.0000 ± 2.1602 aA

2.6　交配竞争能力

RSI 的值在 0～1 之间变化,0 表示测试笼中野生雌虫都是和野生雄虫交配;1 表示测试笼中野生雌虫都是和不育雄虫交配;0.5 表示测试笼中野生雌虫一半与野生雄虫交配,一半与不育雄虫交配,表明不育雄虫与野生雄虫具有同等的交配竞争能力。

比较不育雄虫与野生雄虫交配竞争的结果(表 5),相对不育系数(RSI)均值是 0.4923,结果表明不育雄虫与野生雄虫的交配竞争能力相当。

表 5　不育雄虫与野生雄虫交配竞争

Table 5　Sterile males and wild males competed for wild females

测试笼编号 Test cage no.	交配类型 Mating type (♂ × ♀) 不育雄虫 × 野生雌虫 Sterile male × Wild female	交配类型 Mating type (♂ × ♀) 野生雄虫 × 野生雌虫 Wild male × Wild female	相对不育系数 Relative sterile index
1	16	15	0.5161
2	17	18	0.4857
3	19	21	0.4750
平均值 Mean ± *SE*	17.3333 ± 0.8819	18.0000 ± 1.7321	0.4923 ± 0.0123

2.7　扩散能力

3 周共收回不育雄虫 854 只,占释放总数的 8.54%。其中 77.3% 是在第 1 周收回,22.7% 是在第 2 周收回,第 3 周没有诱集到不育雄虫。第 1 周收回的虫子中,86.2% 是在 1～4 号诱集瓶中,12.3% 是在 5～7 号瓶中收回,仅有 1.5% 是在 8～10 号瓶中收回;第 2 周收回的虫中,88.7 是在 1～4 号瓶中收回,11.3% 是在 5～7 号瓶中收回,8～10 号瓶没有诱集到不育雄虫(表 6)。

大多数不育雄虫在试验的早期而且是距离释放点较近的距离被收回,本试验点的果树杨桃、蕃石榴、枇杷、桃、木瓜、芒果、台湾青枣等均是橘小实蝇的嗜好寄主,表明在田间存在丰富的寄主植物的情况下,不育雄虫不会大量扩散很远的距离。

在第 3 周没有诱集到不育雄虫,这可能是因为之前连续的几天雷阵雨的影响。设置在南面和西面的诱集瓶诱集的效果比较好,这与实验期间的风向有关。

表 6　不育雄虫田间回收

Table 6　Summary statistics for number and distance of recapture of sterile males

诱集时间 Recapture time		诱集瓶编号及距离释放点的距离 Marked capture traps and distance from the releasing site										总数(只) Total number
		50 m				100 m			300 m			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
第 1 周 Week 1	**数量** Number	78	201	153	137	11	31	39	0	10	0	660
	百分比 Percent	11.81	30.45	23.18	20.76	1.67	4.70	5.91	0	1.51	0	
第 2 周 Week 2	**数量** Number	18	49	72	33	0	0	22	0	0	0	194
	百分比 Percent	9.28	25.26	37.11	17.01	0	0	11.34	0	0	0	
第 3 周 Week 3	**数量** Number	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	百分比 Percent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

3 讨论

遗传性别品系建立后可借助仪器，根据蛹的不同颜色分离雌、雄蛹，提高了效率，节约了大量饲养的成本和空间，是大量产业化生产的基础和前提，可加快橘小实蝇综合防治的进程。梁广勤等(2003)研究表明经过95 Gy处理的橘小实蝇雌虫不产卵，但在不育雄虫的获得过程中核辐射剂量、蛹龄及辐射不育机理等均需进一步深入的研究和探讨。

本研究的不育雄虫交配竞争能力与野生雄虫相当，因此辐射对交配能力的影响不大。但对于遗传性别品系与野生虫源之间的隔离系数，以及不育雄虫在测试笼中及田间的寿命是否有差异都需要进一步研究。

从不育雄虫田间扩散效果来看，不育雄虫在田间有充足的寄主植物时，很少会扩散到远距离的其他地方，这将有利于开展橘小实蝇的区域防治。但不同的地形、不同的气候条件下，不育雄虫的扩散规律和空间分布的规律，对应用雄性不育技术的效果将产生直接的影响。总之，橘小实蝇是近年进境的外来害虫，利用昆虫不育技术对其进行防治，国内尚处于研究和探索阶段，还有大量的工作要做。

参 考 文 献 (References)

Bateman MA, 1972. The ecology of fruit fly. *Ann. Rev. Entomol.*, 17: 493–518.

Barry J, McInnis DO, Gates D, Morse J, 2003. Effects of irradiation on Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae): emergence, survivorship, lure attraction, and mating competition. *J. Economic Entomology*, 96: 615–622.

Busch PE, Ripfel J, Pyrek A, Kafu A, 1988. Isolation and mass rearing of a pupal genetic sexing strain of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wied.). In: Modern Insect Control: Nuclear Techniques and Biotechnology. Proc. Int. Symp., Vienna, 1987. IAEA STI/PUB/763: 211–219.

Caceres C, Cayol JP, Enkerlin W, Franz G, Hendrichs J, Ronbinson AS, 2002. Comparison of Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) (Tephritidae) bisexual and genetic sexing strains: development, evaluation and economics. In: Proceedings of 6th International Fruit Fly Symposiun. 367–381.

Economopoulos AP, 1990. Evaluation of a white female pupa genetic sexing strain of Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Wied.), under selection procedures. In: Genetic Sexing of the Mediterranean Fruit Fly. Proc. Final Res. Coord Meet., Colymbari Crete, 1988. IAEA STI/PUB/828: 129–136.

Hendrichs J, Robinson AS, Cayol JP, Enkerlin W, 2002. Medfly areawide sterile insect technique programmes for prevention, suppression or eradication: the importance of mating behavior studies. *Florida Entomologist*, 85: 1–13.

IAEA, 1999. Thematic Plan for Fruit Fly Control Using the Sterile Insect Technique. Vienna, Austria.

IAEA-IP-NA-D4-01, 1998. Thematic Plan for the Sterile Insect Technique for Old and New World Screwworm. Vienna, Austria.

Liang GQ, Liang F, Wu JJ, Li HH, 2003. The first report of the study on sterile treatment for Oriental fruit fly, *Bactrocera* (*Bactrocera*) *dorsalis* (Hendel). *Acta Agriculturae Universitis Jianxiensis*, 25(6): 904–905. [梁广勤，梁帆，吴佳教，李惠河，2003. 桔小实蝇不育处理实验初报. 江西农业大学学报，25(6): 904–905]

Lin JT, Zeng L, Lu YY, Liang GW, Xu YJ, 2004. Research advance in biology and control on *Bactrocera* (*Bactrocera*) *dorsalis* (Hendel). *J. Zhongkai Agrotechnical College*, 17(1): 60–67. [林进添，曾玲，陆永跃，梁广文，许益镌，2004. 橘小实蝇的生物学特性及防治研究进展. 仲恺农业技术学院学报，17(1): 60–67]

Lin X, Shen M, Ji QE, 2007. Development of the white pupal strain of Oriental fruit fly. *Fujian Agricultural Science and Technology*, (3): 47–48. [林骁，沈鸣，季清娥，2007. 橘小实蝇白蛹品系的建立. 福建农业科技，(3): 47–48]

McCombs SD, Lee SG, Saul SH, 1993. Translocation-based genetic sexing system to enhance the sterile insect technique against the melon fly (Diptera: Tephritidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 86: 651–654.

McInnis DO, Lance DR, Jackson CG, 1996. Behavioral resistance to the sterile insect technique by Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. *Annals of the Entomological Society of America*, 89(5): 739–744.

McInnis DO, Tam S, Grace C, Miyashita D, 1994. Population suppression and sterility rates induced by variable sex ratio, sterile insect releases of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. *Annals of the Entomological Society of America*, 87(2): 231–240.

Rendon P, McInnis D, Lance D, Stewart J, 2004. Medfly (Diptera: Tephritidae) genetic sexing: Large-scale field comparison of males-only and bisexual sterile fly releases in Guatemala. *J. Econ. Entomol.*, 97(5): 1 547–1 553.

Shukla RP, Prasad VG, 1985. Population fluctuations of the Oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* Hendel in relation to hosts and abiotic factors. *Tropical Pest Management*, 34(4): 273–275.

Steiner LF, 1957. Field evaluation of Oriental fruit fly insecticides in Hawaii. *J. Econ. Ent.*, 50: 16–24.

Sun GK, Chen JF, Zhang QY, Lin ZJ, 2000. A preliminary report on the integrated control of tephritid fruit fly. *Entomological Journal of East China*, 9(1): 116–119. [孙国坤，陈加福，张清源，林振基，2000. 桔小实蝇综合防治试验初报. 华东昆虫学报，9(1): 116–119]

Vargas RI, Janmes RC, 1990. Comparative survival and demographic statistics for wild oriental fruit fly, Mediterranean fruit fly and melon fly (Diptera: Tephritidae) on papaya. *J. Econ. Entomol.*, 83(4): 1 344–1 349.

Xie YZ, 1937. Study on the Trypetidae: on fruit fly of China. *Sinenia*, (2): 103–226.

(责任编辑：袁德成)